บทที่ 6
บทสรุปและข้อคิดเห็น

6.1 บทสรุป

การวิจัยในครั้งนี้ประกอบไปด้วยเนื้อหาหลายประเด็นด้วยกัน แต่สามารถสรุปสาระสำคัญให้ครอบคลุมการทำวิจัยทั้งหมดสี่ส่วนด้วยกัน ได้แก่ ข้อสรุปเกี่ยวกับการแก้ปัญหาการจ่ายโหลดในระบบที่ไม่ได้มีการติดตั้งกังหันลม ข้อสรุปเกี่ยวกับการแก้ปัญหาการจ่ายโหลดในระบบที่มีการติดตั้งกังหันลม ข้อสรุปเกี่ยวกับการแก้ปัญหาด้วยระเบียบวิธีต่าง ๆ เพื่อหาสรุปในการนำมาใช้แก้ปัญหาการจ่ายโหลดอย่างเหมาะสม ข้อสรุปเกี่ยวกับระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานลม สิ่งที่ได้จากการทำวิจัยในครั้งนี้และแนวทางในการนำไปศึกษาต่อ

ในส่วนแรกที่มีการทดลองการแก้ปัญหาการจ่ายโหลดอย่างประหยัดในระบบที่ไม่มีการติดตั้งกังหันลมผลิตไฟฟ้าด้วยวิธีการหาคำตอบทั้งหมดสามวิธี ซึ่งประกอบไปด้วยระเบียบวิธีเชิงพันธุกรรม (Genetic algorithm, GA), (Interiors point method, ITP), (Harmony search algorithm, HS) นั้น ได้แบ่งการพิจารณาออกเป็น 3 กรณีศึกษา ดังนี้

- ระบบที่ไม่มีการพิจารณาผลของการเปิดปิดวาล์วของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า
- ระบบที่มีการพิจารณาผลของการเปิดปิดวาล์วของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า
- ระบบที่พิจารณากำลังสูญเสียในระบบ

พบว่า HS นั้นในคำตอบที่ดีสุดจากทั้งสามกรณี แต่ ITP นั้นใช้เวลาในการคำนวณน้อยที่สุด โดยที่มีเกณฑ์ในการพิจาณาดังนี้

- มีค่าความคลาดเคลื่อนของคำตอบต่ำกว่า 10^{-6}
- ใช้เวลาในการคำนวณไม่เกิน 60 นาที
- สิ้นสุดรอบในการคำนวณ 200,000 รอบการคำนวณ

ส่วนที่สองเป็นการสรุปเกี่ยวกับการติดตั้งกังหันลมในระบบ พบว่าเมื่อมีการติดตั้งกังหันลมระบบขนาดเล็กในระบบ (10 ยูนิต) ทำให้มีต้นทุนในการผลิตไฟฟ้าลดลง 0.55%, 0.56% 0.80% ตามขนาดกังหันลมที่มีขนาดแตกต่างกัน ได้แก่ 1 MW, 1.5 MW, 2.5 MW ตามลำดับ ซึ่งผลการทดลองที่ได้ ได้มาจากการคำนวณที่ความเร็วลมสูงสุด 9.5 m/s แต่เมื่อศึกษาผลของการติดตั้งกังหันลมขนาดใหญ่ (80 ยูนิต) โดยไม่พิจารณาผลของการเกิดเวกเอฟเฟ็กต์ (Wake effect) ในระบบสามารถลดค่าเชื้อเพลิงได้ ถึง 4.86 % แต่เมื่อพิจารณาผลของเวกเอฟเฟ็กต์(″

(Wake effect) ส่งผลให้กังหันแต่ละเครื่องได้รับความเร็วลมที่แตกต่างกัน ทำให้กำลังการผลิตของระบบที่มีการติดตั้งกังหันลมขนาดใหญ่มีกำลังลดลง ต้องเสียค่าใช้จ่ายเพิ่มขึ้นถึง 0.8 % ในการหาคำตอบด้วยระเบียบวิธีที่เป็นการคำนวณแบบเมตาฮิวริสติก (meta-heuristic) อย่างเช่น GA และ HS เป็นวิธีที่ให้คำตอบที่ดี แต่การจะสามารถทำให้วิธีลักษะดังกล่าวมีประสิทธิภาพในการคำนวณหรือให้คำตอบที่ดี จำเป็นที่จะต้องมีการกำหนดค่าเริ่มต้นอย่างเหมาะสม และต้องใช้เวลาในการคำนวณค่อนข้างมากเมื่อเปรียบเทียบกับการคำนวณแบบ ITP แต่ข้อดีของวิธีการลักษณะนี้คือ เป็นวิธีให้คำตอบที่หลากหลายเพราะจะอาศัยการสุ่มเลือกในการคำนวณทำให้การคำนวณในแต่รอบมักมีคำตอบที่แตกต่างกัน ทำให้มีโอกาสที่จะได้คำตอบที่ดีกว่าวิธีการปกติก็จะเพิ่มสูงขึ้นตามเวลาที่ในการคำนวณที่เพิ่มขึ้น ดังนั้นในงานที่ไม่มีขอบเขตในเรื่องของเวลาจึงจัดได้ว่าเป็นวิธีเหมาะสมวิธีหนึ่ง แต่จากผลการทดลองจะพบว่าเมื่อเปรียบเทียบวิธี GA, HS ซึ่งเป็นวิธีการแบบเมตาฮิวริสติก (meta-heuristic) เช่นเดียวกันจะพบว่า HS นั้นให้คำตอบดีกว่าในลักษณะการคำนวณและเงื่อนไขที่กำหนดไว้ แต่การสรุปลักษณะนี้ไม่ได้ครอบคลุมถึงปัญหาลักษณะอื่น ๆ ซึ่งจากการทดลองเบื้องต้นในบทที่สาม GA นั้นให้คำตอบที่ดีกว่า HS ในบางสมการจะเห็นว่าการเลือกวิธีให้มีความเหมาะสมกับปัญหา จึงเป็นแนวทางที่จำเป็นเพื่อให้ได้คำตอบที่ดีตามไปด้วย

ส่วนที่สามข้อสรุปเกี่ยวกับการแก้ปัญหาด้วยระเบียบวิธีต่าง ๆ วิเคราะห์ถึงข้อดีข้อเสียจากการนำวิธีต่าง ๆ มาแก้ปัญหาการจ่ายโหลดสามารถสรุปเป็นข้อดีข้อเสีย ต่าง ๆ ได้ดังนี้

ตารางที่ 6.1 การเปรียบเทียบข้อดีข้อเสียของการหาคำตอบแต่ละวิธี

วิธีการ	ข้อดี	ข้อเสีย
HS	คำนวณได้คำตอบที่ดี	แต่ละครั้งในการคำนวณให้ค่าที่แตกต่างกัน
		ใช้รอบการคำนวณมาก
ITP	คำนวณได้รวดเร็ว	ให้คำตอบที่ไม่ดี
GA	คำนวณตอบที่ได้ในแต่ละรอบใกล้เคียงกัน	ใช้เวลาในการคำนวณมาก
		คำตอบที่ได้ไม่ดีเท่าที่ควร

จากข้อดีข้อเสียการแก้ปัญหาการจ่ายโหลดนั้นที่ได้กล่าวมาแล้วนั้น ทำให้ได้ข้อสรุปในการนำระเบียบวิธีการต่าง ๆ มาใช้ปัญหาการจ่ายโหลด ถ้าเป็นการแก้ปัญหาการจ่ายโหลดที่คำนึงถึงระยะเวลาอันจำกัดหรือข้อจำกัดทางเวลาระเบียบวิธีแบบฮิวริสติก (Heuristic) อย่างเช่น HS หรือ GA จะสามารถให้คำตอบที่ดีกว่าวิธีการคำนวณทั่ว ๆ ไปซึ่งเหมาะกับการคำนวณ

ในลักษณะใช้เพื่อการวางแผนงานในระยะยาว หรือการวางแผนโครงการเพื่อประมูลงานที่แข่งขันในรายละเอียดด้วยตัวเลขผลการคำนวณที่ดีกว่า แต่หากเป็นการแก้ปัญหาการจ่ายโหลดที่ต้องการความรวดเร็ว ระเบียบวิธีแบบจุดภายในนั้นจะทำได้ดีกว่า เพราะใช้เวลาในการคำนวณน้อยมากเมื่อเทียบกับอีกสองวิธี

แต่สำหรับการแก้ปัญหาการจ่ายโหลดกับระบบที่มีการติดตั้งกังหันลมตามแบบจำลองที่ได้สร้างขึ้นนั้น จะเป็นการวางแผนการจ่ายโหลดโดยมีเงื่อนไขเกี่ยวกับ แรมเลทลิมิต (Ramp rate limit) ในการพิจารณาด้วย ซึ่งเงื่อนไขดังกล่าวจะเป็นขอบเขตในการเปลี่ยนแปลงกำลังการผลิตไม่ให้เกินขีดจำกัดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแต่ละเครื่อง การแก้ปัญหาด้วยระเบียบวิธีแบบพันธุกรรมและฮาโมนี จะสามารถหาคำตอบค่อนข้างดีกว่าในลักษณะที่ว่าไม่ต้องกำหนดจุดเริ่มต้นของคำตอบก่อนที่จะทำการคำนวณ แต่ระเบียบวิธีแบบจุดภายในเราต้องมีการกำหนดซึ่งในความเป็นจริงเราจะไม่ทราบเลยว่าคำนวณควรมีลักษณะอย่างไร ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับวิธีในตระกูลฮิวริสติก (Heuristic) ซึ่งมีการพัฒนาให้การหาคำตอบมีความชาญฉลาด (Artificial inteligent) ทำให้การหาคำตอบเป็นไปได้ง่ายกว่า เพื่อในบางกรณีจะทำให้หาคำตอบไม่ได้เนื่องจากปัญหาคำตอบเกินลิมิต

ส่วนที่สี่ข้อสรุปในการนำพลังงานลมมาใช้งานนั้นความเร็วลมเฉลี่ยในบริเวณพื้นที่นั้นต้องมีความเพียงพอต่อการผลิตกระแสไฟฟ้าซึ่งขึ้นอยู่กับขนาดของกังหันที่เลือกใช้ ในงานวิจัยนี้ไม่ได้คำนึงราคาการติดตั้งอุปกรณ์ ค่าใช้จ่ายในการซ่อมบำรุงหรือราคาด้านอื่น ๆ นอกจากราคาต้นทุนเชื้อเพลิงที่เกิดขึ้นจากการผลิตไฟฟ้าเท่านั้น แต่ในการวางแผนในระยะยาวการวิเคราะห์เกี่ยวกับความคุ้มค่าในการลงทุน ซึ่งในส่วนนี้ในงานวิจัยไม่ได้ครอบคลุมถึง เพราะในการทำวิจัยในครั้งนี้เพียงเพื่อแสดงถึงการแก้ปัญหาการจ่ายโหลดกับระบบที่มีการติดตั้งกังหันลมผลิตไฟฟ้าในการวางแผนการเดินเครื่องด้วยต้นทุนที่ลดลงเนื่องมาจากพลังงานทดแทนที่มาจากพลังงานลมทำให้สามารถลดกำลังการผลิตให้น้อยลงแต่ยังคงเพียงพอต่อความต้องการใช้พลังงานของผู้บริโภค เมื่อใช้พลังงานลดลงก็ทำให้ค่าเชื้อเพลิงที่ใช้น้อยลงไปด้วยถือเป็นหลักการรูปแบบหนึ่งในการประหยัดพลังงาน แต่จากการศึกษาพบว่าการปฏิบัติในลักษณะดังที่ได้กล่าวมานั้นจะส่งผลที่ดีในสภาพแวดล้อมที่มีความเร็วลมเฉลี่ยที่ค่อนข้างสูงเท่านั้น ในประเทศที่มีความเร็วลมต่ำอย่างเช่นในประเทศไทยอาจพลังงานในรูปแบบอื่นทดแทน

สิ่งที่ได้จากทำการวิจัยในครั้งนี้คือ วิธีที่มีความเหมาะสมในการแก้ปัญหาการจ่าย ไม่ว่าจะเป็นระบบที่มีการติดตั้งหรือไม่ได้มีการติดตั้งกังหันลม รวมถึงรูปแบบการจำลองระบบที่ได้มีการติดตั้งกังหันลมในระบบขนาดเล็กและขนาดใหญ่ รวมถึงผลการทดสอบแก้ปัญหาการจ่ายโหลดเพื่อศึกษาสภาวะการเปลี่ยนทางด้านต้นทุนเชื้อเพลิงที่ใช้ ว่ามีแนวโน้มลดลงหรือไม่อย่างไร รวมถึงการพิจารณาผลที่เกิดจากเวกเอฟเฟ็กต์ (Wake effect) ว่าส่งผลต่อการพิจารณาด้านราคามากน้อยเพียงได้ และที่สำคัญทำให้ได้ข้อสรุปในการติดตั้งกังหันลมในภูมิประเทศที่มีข้อแตกต่างด้านกำลังลมที่แตกต่างกัน

แนวทางการนำไปศึกษาต่อจากการทำวิจัยในครั้งนี้คือ การศึกษาลงไปถึงการวิเคราะห์ค่าใช้จ่ายในการติดตั้ง ค่าซ่อมบำรุงรักษา เพื่อนำไปวิเคราะห์ถึงจุดคุ้มทุน ซึ่งได้มีการลงรายละเอียดไปถึงการวางแผนในระยะยาวเพื่อเชื่อมโยงไปถึงสภาวะที่เหมาะสมในการใช้งานพลังงานทดแทน และสามารถนำไปศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการใช้พลังงานทดแทนเพื่อลดมลพิษทางอากาศจากการผลิตไฟฟ้ากับการประเมินสภาวะทางด้านราคาอย่างเหมาะสม

6.2 ข้อคิดเห็น

ในการหาคำตอบด้วยระเบียบวิธีแบบสุ่มเลือก (Heuristics) นั้นถึงแม้ว่าจะสามารถให้ค่าคำตอบที่ดีกว่าการใช้การหาอนุพันธ์ในการหาคำตอบ เพราะสามารถหลีกเลี่ยงจุดที่เป็นคำตอบเฉพาะถิ่น (Local minimum point) เพื่อให้ได้คำตอบที่เข้าใกล้คำตอบที่ดีที่สุด (Global optimum point) มากขึ้น แต่เนื่องจากการคำนวณลักษณะนี้ต้องอาศัยการสุ่มในการคำตอบ ทำให้ในการคำนวณแต่ละครั้งจะทำให้ค่าได้นั้นแตกต่างกันออก และยังมีปัจจัยหลีกหลายอย่างที่ส่งผลต่อคำตอบที่ได้ เช่น การกำหนดค่าเริ่มต้น การกำหนดรอบสิ้นสุดการคำนวณ วิธีในการสุ่มค่า ซึ่งในส่วนนี้จะเป็นแสดงให้เห็นถึงผลที่เกิดจากปัจจัยดังกล่าว โดยจะใช้วิธีการหาคำตอบแบบฮาโมนีในการแก้ปัญหาการจ่ายโหลดจากบทที่ 5 ซึ่งแบ่งกรณีศึกษาออกเป็น 2 กรณีได้ดังนี้

- เปลี่ยนแปลงค่าเริ่มต้น

ค่าเริ่มต้นที่ส่งผลต่อการคำนวณด้วยระเบียบการหาคำตอบแบบฮาโมนี ทดลองโดยการเปลี่ยนค่าของตัวแปรซึ่งได้แก่ HMS, HMCR, PAR ซึ่งค่าที่ต้องกำหนดก่อนทำการคำนวณทีละค่า โดยกำหนดค่าเริ่มต้นดังนี้ (HMS = 10, HMCR = 0.7, PAR = 0.1) ทำให้แบ่งย่อยออกได้เป็น 3 กรณีย่อยดังนี้

กรณีที่ 1 เปลี่ยนแปลงค่า HMS ให้มีค่าเป็น 4 และ 20 ค่า PAR, HMCR มีค่าคงที่ ผลที่ได้พบว่า HMS มีค่า 20 จะให้คำตอบที่ดีที่สุด

กรณีที่ 2 เปลี่ยนแปลงค่า HMCR ให้มีค่าเป็น 0.6 และ 0.8 ค่า PAR, HMS มีค่าคงที่ ผลที่ได้พบว่า HMCR มีค่า 0.8 จะให้ค่าที่ดีที่สุด

กรณีที่ 3 เปลี่ยนแปลงค่า PAR ให้มีค่าเป็น 0.03 และ 0.2 ค่า HMS, HMCR มีค่าคงที่ ผลที่ได้พบว่า PAR มีค่าเป็น 0.1 จะให้ค่าที่ดีสุด

จากการทดลองดังกล่าวแสดงถึงวิธีการปรับค่าของตัวแปรเริ่มต้นให้เหมาะสม โดย HMS คือขนาดของเมตริกที่จะบรรจุคำตอบเพื่อใช้เลือกค่าที่ดีที่สุดของมาเมื่อสิ้นสุดการคำนวณดังนั้น จากการทดลองพบว่ายิ่ง HMS มีค่ามากก็จะทำให้ได้คำตอบที่ดีมากขึ้นไปด้วย ส่วนค่า HMCR ค่าของตัวแปรที่เป็นความน่าจะเป็นในการสุ่มเลือกคำตอบใหม่ (Improvise new harmony) ในแต่ละรอบการคำนวณซึ่งจะสุ่มหยิบมาจาก HMS พบว่าควรมีค่าใกล้เคียง 1 ส่วนค่าของ PAR

คือค่าของความน่าจะเป็นในการสุ่มตัวแปรใหม่โดยมีพิกัดการสุ่มที่เปลี่ยนไปจากการสุ่มแบบปกติ พบว่าควรมีค่าต่ำแต่ไม่ควรต่ำกว่า 0.1 เพราะหากมีค่ามากมักจะทำให้คำตอบที่ได้เกินค่าของลิมิตที่ตั้งไว้

- เปลี่ยนแปลงรอบสิ้นสุดการคำนวณ

ทดลองโดยการกำหนดค่าเริ่มต้นที่ (HMS = 10, HMCR = 0.7, PAR = 0.1) โดยมีการทดสอบที่รอบการคำนวณ 10 1,000 และ 100,000 ซึ่งผลที่ได้พบว่าการคำนวณที่รอบการคำนวณ 100,000 ให้ค่าคำตอบที่ดีที่สุด

จากผลการทดสอบสามารถมาสรุปเป็นข้อเสนอแนะได้ดังนี้

- รอบการคำนวณที่เพิ่มส่งทำให้คำตอบที่ได้มีค่าคำตอบที่ดีขึ้น
- ในการนำระเบียบวิธีการหาคำตอบแบบฮาโมนีมาใช้แก้ปัญหาการจ่ายโหลดอย่างประหยัดนั้น ควรกำหนดให้ค่าของตัวแปร HMCR มีค่าอยู่ประมาณ 0.7-0.9 และ PAR มีค่าต่ำกว่า 0.2 แต่ไม่ควรต่ำกว่า 0.1